

(19) BUNDESREPUBLIK

DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT

(12) Offenlegungsschrift  
(10) DE 199 41 038 A 1

(51) Int. Cl.<sup>7</sup>:  
**H 05 B 3/40**  
H 05 B 3/14  
B 29 C 45/74

DE 199 41 038 A 1

(21) Aktenzeichen: 199 41 038.0  
(22) Anmeldetag: 28. 8. 1999  
(43) Offenlegungstag: 1. 3. 2001

(71) Anmelder:

Günther Heißkanaltechnik GmbH, 35066  
Frankenberg, DE

(74) Vertreter:

Olbricht und Kollegen, 35096 Weimar

(72) Erfinder:

Günther, Herbert, 35108 Allendorf, DE; Otschik,  
Peter, Dr., 01728 Possendorf, DE; Kretzschmar,  
Christel, Dr., 01809 Röhrsdorf, DE

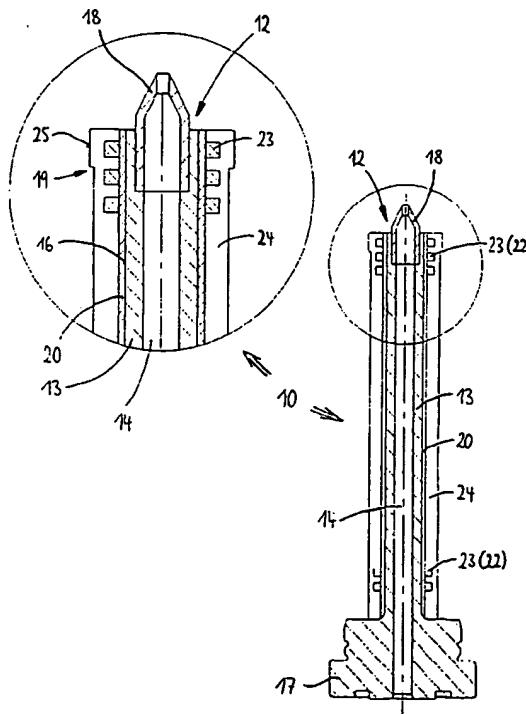
(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht  
zu ziehende Druckschriften:

DE 41 25 297 C1  
DE 38 10 736 C2  
DE 35 45 445 A1  
DE 35 36 268 A1  
DE 298 00 743 U1  
DE 89 09 020 U1  
DE 85 06 482 U1

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen**

(51) Elektrische Heizung für Heißkanalsysteme und Verfahren zur Herstellung einer solchen Heizung

(51) Auf dem Umfang eines zylindrischen Materialrohrs (13) einer Heißkanaldüse (12) wird in Direktbeschichtung eine elastische Flachschichtheizung (10) installiert. Diese Flachschichtheizung besteht aus einer unmittelbar auf das Metallrohr (13) bzw. dessen Wandung (16) aufgebrachten keramischen Dielektrikumsschicht (20), wenigstens einer Schicht (22), bestehend aus Heizleiterbahnen (23) sowie einer darüber aufgebrachten elektrisch isolierenden keramischen Abdeckschicht (24). Als Beschichtungsverfahren eignet sich die Folien- oder die Dickschicht-Siebdrucktechnik. Bevorzugt verwendet man jedoch für den gesamten Schichtaufbau die Dickschichttechnik unter Verwendung der Runddrucktechnologie. Alternativ kann man die keramische Dielektrikumschicht (20) als vorgefertigte Grünfolie auf dem Rohrumfang des Heißkanalrohres (13) fixieren und anschließend einbrennen.



## Beschreibung

Die Erfindung betrifft eine elektrische Heizung für Heißkanalsysteme, insbesondere für Heißkanalverteiler und/oder Heißkanaldüsen, gemäß Anspruch 1. Ferner betrifft sie ein Verfahren zur Herstellung einer solchen Heizung gemäß Anspruch 22.

Elektrische Heizeinrichtungen für Heißkanalsysteme sind gewöhnlich als separate Bauelemente ausgebildet mit rohrförmigen Heizelementen, die in lösbarer Ummantelungen integriert und umfangsseitig auf die meist rohrförmigen Strömungskanäle aufsetzbar sind. Die Ummantelungen können, wie beispielsweise in DE-U1-295 07 848 oder US-PS-4,558,210 offenbart, als starre Gebilde mit an den Strömungskanal angepaßten Krümmungsgraden ausgebildet sein, die durch zusätzliche Halte- bzw. Spannelemente auf dem Rohrumsfang in axialer Richtung festlegbar sind. Oder Sie werden als flexible Hitzestreifen bzw. -matten zwischen elektrisch isolierenden Schichten mit gegebenenfalls unterschiedlichen Wärmeleitungsvermögen ausgebildet, die auf dem Rohrumsfang des Strömungskanals fixiert werden. EP-B1-0 028 153 sieht hierzu wärmeleitende Klebestreifen vor, während WO 97/03540 flexible Haltebänder mit Klett- oder Druckknopfverschlüssen verwendet.

Ein wesentlicher Nachteil der generell mechanisch lösbarer Heizvorrichtungen besteht in einem meist wenig effizienten Wärmeübergang von dem Heizelement auf den rohrförmigen Strömungskanal. Um dies zu kompensieren, ist man gezwungen, die Heizvorrichtung insgesamt größer zu dimensionieren, was zu hohen Wärmekapazitäten führt. Die dadurch bedingten großen thermischen Massen verlängern die Aufheiz- und Abkühlphasen, wodurch sich Begrenzungen hinsichtlich erhöhter Produktivitätsraten ergeben. Darüber hinaus bestehen Probleme bei der linearen Temperaturverteilung innerhalb der Wandungen des Strömungskanals. Letztere weisen nur selten über die gesamte Länge des Strömungskanals eine konstante Temperatur auf. Insbesondere im Bereich der Düsentspitze lässt sich nur mit relativ hoher Aufwand ein ausreichender Wärmeübergang und damit eine ausreichende Temperatur erzielen. Dies wiederum beeinflusst die gesamte Temperatureinstellung und den damit verbundenen Regelungsaufwand.

Ziel der Erfindung ist es, unter Überwindung dieser und weiterer Nachteile des Standes der Technik, eine elektrische Heizvorrichtung für Heißkanalsysteme zu schaffen, die eine generell verbesserte und individuell präzise einstellbare Wärmeübergangs- und Temperaturverteilungs-Charakteristik zwischen Heißkanalhauptteil und Düse ermöglicht. Sie soll ferner ohne größeren Steuerungsaufwand leicht zu handhaben sein.

Ein weiteres Ziel der Erfindung ist es, eine form- und kraftschlüssig integrierte elektrische Heizvorrichtung für Heißkanalsysteme zu schaffen, die bei kompakten Abmessungen mechanisch nicht lösbar auf einer einem Strömungskanal zugeordneten Wandung, beispielsweise einem Materialrohr, einem Stab, einem Verteilerarm o. dgl., aufbringbar ist und selbst extremen mechanischen und/oder thermischen Belastungen dauerhaft standhält.

Darüber hinaus besteht ein wichtiges Ziel der Erfindung darin, ein Verfahren zur Herstellung einer Heizung für Heißkanalsysteme, insbesondere für Heißkanalverteiler und/oder Heißkanaldüsen zu entwickeln, welches bei minimalem Aufwand einfach und kostengünstig durchführbar ist.

Hauptmerkmale der Erfindung sind in Anspruch 1, 20, 21 und 22 angegeben.

Bei einer elektrischen Heizung für Heißkanalsysteme, insbesondere für Heißkanalverteiler und/oder Heißkanaldüsen, ist erfahrungsgemäß wenigstens eine Isolierschicht und

wenigstens eine Heizleiterbahnen aufweisende Heizschicht vorgesehen, wobei die eine Flachschichtheizung bildenden Schichten mittels Direktbeschichtung stoffschlüssig auf wenigstens einer einem Strömungskanal zugeordneten Wandung aufgebracht sind.

Ein geeignetes Verfahren zum Herstellen einer solchen Heizung auf Heißkanalverteilern und/oder auf Heißkanaldüsen, sieht erfahrungsgemäß vor, daß wenigstens eine Isolierschicht und wenigstens eine Heizleiterbahnen aufweisende Heizschicht mittels Direktbeschichtung stoffschlüssig auf zumindest einer einem Strömungskanal zugeordneten Wandung aufgebracht werden.

Das stoffschlüssige Aufbringen der Heizung in Schichten sorgt für eine dauerhaft feste Verbindung mit der Wandung des Strömungskanals und damit für einen festen Halt auf dem Heißkanalverteiler oder der Heißkanaldüse. Aufgrund der durch die Direktbeschichtung erzielten geringen Dickenabmessungen nimmt die Heizung insgesamt nur wenig Raum ein, so daß sich im Vergleich zu herkömmlichen Heizvorrichtungen bei nahezu gleichen Leistungsmerkmalen äußerst kompakte Bauformen realisieren lassen. Zudem kann die Leistungsdichte deutlich erhöht werden, da die Wärme direkt auf der Oberfläche des zu beheizenden Heißkanalelements erzeugt und abgenommen wird. Eine Überhitzung der meist empfindlichen Heizelemente wird zuverlässig vermieden. All dies gewährleistet zusammen mit der mechanisch nicht lösbarer Anbringung der Heizung auf der Strömungskanal-Wandung einen stets optimalen Wärmeübergang von der Heizschicht über die Isolierschicht auf die Wandung, die äußerst gleichmäßig und präzise erwärmt wird. Aufwendige Steuerungseinrichtungen, die durch thermische Massen bedingte Reaktionsverzögerungen berücksichtigen müssen, sind nicht erforderlich. Der Strömungskanal läßt sich rasch und präzise aufheizen und ebenso wieder abkühlen, was sich günstig auf den gesamten Produktionsablauf auswirkt. Die Schmelztemperatur läßt sich exakt und mit einfachen Mitteln kontrollieren.

Ein weiterer Vorteil besteht darin, daß die Heizung zuverlässig gegen Feuchtigkeitsaufnahme geschützt ist. Bei herkömmlichen Heizungen mit Rohrheizkörpern oder Wendelrohrpatronen ergeben sich durch die Feuchtigkeitsaufnahme des hygroskopischen Isoliermaterials neben Installationsproblemen auch Isolationsprobleme, da durch die eindringende Feuchtigkeit Kurzschlüsse entstehen können. Um dies zu verhindern, werden zusätzliche Regler benötigt, die bei der Inbetriebnahme der Heizung mit verminderter Heizleistung zunächst die Feuchtigkeit austreiben. Die erfahrungsgemäß Heizungsvorrichtung braucht dies nicht. Sie ist vielmehr völlig dicht und unverlierbar mit dem Strömungskanal verbunden ist, so daß der bisher erforderliche Montage- und Regelungsaufwand vollständig entfällt. Dies wirkt sich günstig auf die Anschaffungs- und Montagekosten eines Heißkanalsystems aus.

Vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung sind Gegenstand der Ansprüche 2 bis 19 und 23 bis 43.

Ein weiteres wichtiges Merkmal der Erfindung stellt die Ausbildung einer spannungstoleranten Verbindung zwischen der keramischen Dielektrikumsschicht und dem Heißkanalrohr dar, welches bei Betriebstemperatur einer durch den Spritzgießprozeß technologisch bedingten pulsierenden Innendruckbelastung ausgesetzt wird. Diese Belastung und die zum Erreichen der Betriebstemperaturen erforderliche Erwärmung der Strömungskanal-Wandung auf Temperaturen zwischen 300 und 450°C führen zu elastischen Dehnungsvorgängen, die unmittelbar auf die Heizung übertragen werden. Der jeweilige Grad der Verformung hängt von materialspezifischen Größen (E-Modul) und von technologischen Randbedingungen (Betriebstemperatur, Rohrwand-

stärke, Höhe des Innendrucks) ab. Dies kann dazu führen, daß auf dem Stahlrohr aufgebrachte Schichten im Zusammenwirken der genannten Größen in unterschiedlichem Maße in den Bereich von Zugspannungen gelangen, was die Erfindung jedoch zuverlässig vermeidet.

Die bevorzugt als keramische Dielektrikumsschicht ausgebildete Isolierschicht steht nach dem Einbrennprozeß gegenüber der dem Strömungskanal zugeordneten Wandung erfundungsgemäß unter einer definierten Druckvorspannung, so daß bei der Innendruckbelastung radienabhängig in unterschiedlicher Höhe auftretende Delaminationskräfte innerhalb der Schicht kompensiert werden. Die gesamte Heizung besitzt eine außerordentlich gute Haftfestigkeit auf der Wandung des Strömungskanals und hält selbst extremen mechanischen und thermischen Belastungen dauerhaft stand. Dadurch sind stets optimale Produktionsergebnisse gewährleistet.

Einen weiteren wichtigen Bestandteil der erfundenen Lösung stellt ferner die Anpassung der Einbrenntemperaturen der aufzubringenden Schichten an die Härtungs- bzw. Vergütungstemperatur der Strömungskanal-Wandung dar. Das Herstell-Verfahren läßt sich dadurch auf vielfältige Weise optimieren und auf nur wenige Verfahrensschritte reduzieren, insbesondere dann, wenn das Einbrennen der ersten Isolierschicht und das Härteln der Strömungskanal-Wandung im co-firing-Verfahren durchgeführt werden.

Erfolgt das Einbrennen hingegen nach dem Härtungsprozeß, wird das keramische Dielektrikum bei Temperaturen eingebrannt, welche die erforderliche Vergütungstemperatur des Metalls nicht überschreiten, um den bereits vorgebildeten Gefügezustand des Metalls zu erhalten.

Vorzugsweise erfolgt jedoch eine Anpassung der Einbrennbedingungen mit dem Ziel, beide Prozesse im co-firing-Verfahren durchführen zu können. Erfundungsgemäß werden auch Härtungstemperaturen von der Dielektrikumsschicht toleriert, die oberhalb der Einbrenntemperatur liegen.

Die induktive Härtung des mit einer keramischen Grünfolie oder einer noch nicht eingebrannten Dickschichtpaste beschichteten Stahlrohrs in Verbindung mit dem gleichzeitig ablaufenden Einbrennprozeß der keramischen Beschichtung ist für die Durchführung des erfundungsgemäßen Verfahrens besonders gut geeignet, da bei diesem Prozeß der Wärmeübergang von dem induktiv erhitzen Stahlrohr ausgeht und die Erwärmung der einzubrennenden Schicht von innen her erfolgt. Auf diese Weise können die in der Dickschichtpaste enthaltenen flüchtigen organischen Komponenten wie Bindemittel und Druckträger problemlos aus dem allmählich versinternden glaskeramischen Materialsystem entweichen, ohne daß Gasreste eingeschlossen werden. Blasenbildung wird somit zuverlässig verhindert. Das Schichtgefüge wird exakt homogen ausgebildet.

Gemäß der Erfindung wird eine spannungstolerante und haftfeste Verbindung zwischen der keramischen Dielektrikumsschicht und der Strömungskanal-Wandung durch die Ausbildung einer gezielten Druckvorspannung in der keramischen Dielektrikumsschicht in der Weise ermöglicht, indem in Abhängigkeit von den oben genannten dehnungsrelevanten Kenngrößen des Heißkanalrohrs fallweise eine jeweils spezifische Fehlanpassung des linearen Ausdehnungskoeffizienten der keramischen Dielektrikumsschicht  $TEC_{DE}$  an den entsprechenden Wert des metallischen Heißkanalrohrs  $TEC_M$  vorgegeben wird, wobei die Differenzausdehnung  $TEC_{DE} - TEC_M$  einen Wert von  $5 \cdot 10^{-6} K^{-1}$  nicht überschreitet.

Die erfundungsgemäße Dielektrikumsschicht wird durch Einbrennen eines glasig-kristallinen Materialsystems auf der Metallwandung des Strömungskanals vorzugsweise in-

nerhalb eines Temperaturbereichs zwischen 800 und 1100°C erhalten. Dieser Bereich entspricht den üblichen Härtungstemperaturen der meisten kommerziellen Werkzeugstahlsorten für Warmarbeit.

Darüber hinaus erhält das als Dickschichtpaste oder Grünfolie vorwiegend glasigkristalline Materialsystem erfundungsgemäß mindestens ein vorgebildetes Glas, welches bei der jeweiligen Einbrenntemperatur die Metalloberfläche benetzt und dabei zum mindesten teilweise in den kristallinen Zustand übergeht.

Zusätzlich bzw. alternativ kann das Materialsystem mindestens ein weiteres, unter Einbrennbedingungen nicht kristallisierendes Glas sowie mindestens eine a priori kristalline Verbindung enthalten, wobei durch Optimierung der Mengenanteile der vorgebildeten glasigen und kristallinen Bestandteile des Materialsystems unter Berücksichtigung ihrer jeweiligen TEC-Inkremepte unter den Bedingungen des jeweiligen Einbrennvorgangs eine keramische Dielektrikumsschicht mit einem TEC-Wert im Bereich zwischen  $5 \cdot 10^{-6} K^{-1}$  und  $7 \cdot 10^{-6} K^{-1}$  erhalten wird.

Weitere Merkmale, Einzelheiten und Vorteile der Erfindung ergeben sich aus dem Wortlaut der Ansprüche sowie aus der folgenden Beschreibung von Ausführungsbeispielen anhand der Zeichnungen. Es zeigen:

Fig. 1 eine schematische Schnittansicht einer Heißkanaldüse mit einer Flachsichtheizung,

Fig. 2 die Heizung von Fig. 1 in einer abgewickelten und teilweise aufgefalteten Darstellung,

Fig. 3 eine Schnittansicht einer anderen Ausführungsform einer Heißkanaldüse mit einer Flachsichtheizung,

Fig. 4 die Heizung von Fig. 3 mit einem Thermoführer in abgewickelter Darstellung,

Fig. 5 eine Schnittansicht einer weiteren Ausführungsform einer Heißkanaldüse mit einer Flachsichtheizung,

Fig. 6 eine andere Art der Heizungs- und Thermoführer-Anordnung und

Fig. 7 eine noch andere Ausführungsform einer Heizung mit Thermoführer.

Die in Fig. 1 skizzierte Heißkanaldüse 12 hat als Bestandteil einer Spritzgußanlage für die thermoplastische Kunststoffverarbeitung zur Festlegung an einem (nicht dargestellten) Verteiler ein (ebenfalls nicht gezeichnetes) Gehäuse, in das ein insgesamt zylindrisches Materialrohr 13 einsetzbar ist. Ein an diesem endseitig ausgebildeter Sockel 17 schließt bündig mit dem Gehäuse ab und liegt dichtend an dem Verteiler an. In das sich in Axialrichtung längerstreckende Materialrohr 13 ist endseitig eine Düsen spitze 18 eingesetzt, vorzugsweise eingeschraubt, die den in dem Materialrohr 13 ausgebildeten Strömungskanal 14 bis an die (nicht dargestellte) Ebene eines (ebenfalls nicht sichtbaren) Formnestes fortsetzt. Die Düsen spitze 18 kann auch bei gleicher Funktionsweise mit dem Materialrohr 13 einstückig sein.

Auf dem Umfang der Wandung 16 des aus Stahl gefertigten Materialrohrs 13 ist eine Heizung 10 aufgebracht. Diese ist als Flachsichtheizung ausgebildet mit einer unmittelbar auf dem Metall aufgebrachten keramischen Dielektrikumsschicht 20 als Isolationsschicht, einer darüber aufgebrachten Heizschicht 22, die – wie in Fig. 2 schematisch angedeutet – mäanderförmige Heizleiterbahnen 23 aufweisen kann, sowie einer äußeren Abdeckschicht 24, welche die Heizleiterbahnen 23 und die darunter liegende Dielektrikumsschicht 20 nach außen hin abdeckt und elektrisch isoliert. Die beliebig gestaltbaren Heizleiterbahnen 23 können je nach erforderlicher Leistung in unterschiedlicher Dichte und Anordnung auf der Isolationsschicht 20 aufgebracht sein. Hierdurch läßt sich bei Bedarf eine definierte Temperaturverteilung innerhalb des Materialrohrs 13 erzielen.

Eine andere Ausführungsform einer Heißkanaldüse 12 ist

in Fig. 3 dargestellt. Das Materialrohr 13 ist ohne eigene Düsenspitze 18 ausgebildet. Die Heizschicht 22 mit den Heizleiterbahnen 23 ist auf der keramischen Isolationschicht 20 bis an das äußere freie Ende des materialführenden Rohres 13 herangeführt. In diesem Endbereich 19 bildet die Abdeckschicht 24 eine umfangsseitige Dichtfläche 25, die eine Abdichtung zu angrenzenden Bauelementen bewirkt. Auf diese Weise kann verhindert werden, daß an die nähre Umgebung ungewollt Wärme abgegeben wird. Die Ausgestaltung der Heizleiterschicht 22 ist aus Fig. 4 ersichtlich. Man erkennt, daß sich die mäanderförmig verlaufenden Heizleiterbahnen 23 in den jeweiligen Endbereichen des Materialrohrs 13 konzentrieren, d. h. im Endbereich 19 und vor dem Sockelbereich 17. Dadurch wird die extrem hoch ansetzbare Leistung bis weit in den Spitzbereich der Düse 12 eingebracht, was eine insgesamt optimale Temperaturlösung ermöglicht. Selbst thermisch empfindliche Materialien, die ein Verarbeitungsfenster von nur wenigen Grad aufweisen, lassen sich problemlos Verarbeiten.

Sollte die Abdeckschicht 24 nicht in der Lage sein, die erforderlichen Dichtungsfunktionen zu übernehmen, kann das Materialrohr 13 in seinem Endbereich 19 mit einem Stahlbund 13' oder einem Flansch versehen sein, der umfangsseitig eine entsprechende Dichtfläche 25 aufweist. Die Heizung 10 ist hier - wie Fig. 5 zeigt - zwischen dem Sockel 17 und dem Bund 13' auf der zylindrischen Wandung 16 des Materialrohrs 13 aufgedrückt.

Um sowohl den Anstieg als auch den Verlauf der Temperatur innerhalb des Materialrohrs 13 bzw. innerhalb der Wandung 16 verfolgen bzw. kontrollieren zu können, ist zwischen der Heizschicht 22 und der Abdeckschicht 24 zumindest abschnittsweise wenigstens eine Schicht 28 aus einem PTC-Material vorgesehen, dessen Widerstand mit steigender Temperatur zunimmt (Fig. 2). Für einen besseren Wärmekontakt befindet sich zwischen der Heizschicht 22 und der Widerstandsschicht 28 eine elektrisch isolierende Kontaktsschicht 26, die bei Bedarf auch zwischen weiteren Schichten vorgeschen sein kann. Die Widerstandsschicht 28 kann ebenso wie die Heizschicht 22 Leiterbahnen 29 aufweisen, die als Thermofühler den Temperaturverlauf messen (siehe Fig. 4). Die Leiterbahnen 29 liegen dabei zweckmäßig in der gleichen Ebene wie die Heizleiterbahnen 23 der Heizschicht 22 und werden gemeinsam mit diesen von der Abdeckschicht 24 nach außen hin geschützt. Auf diese Weise ist die Höhe der Heizung auf ein Minimum reduziert. Fig. 6 und 7 zeigen je eine alternative Möglichkeit für eine Gestaltung der Heizleiterbahnen 23 sowie der Leiterbahnen 29 für die Temperaturmessung.

Jede Schicht 20, 22, 24, 26, 28 wird mittels Direktbeschichtung stoffschlüssig auf der Rohrwandung 16 aufgetragen und anschließend unter den jeweils materialspezifisch vorgegebenen Einbrennbedingungen eingearbeitet, so daß ein stoffschlüssiger Schichtverbund entsteht. Durch eine spezifische Füllanpassung des linearen thermischen Ausdehnungskoeffizienten der Dielektrikumsschicht 20 ( $\text{TEC}_{\text{DE}}$ ) an den linearen thermischen Ausdehnungskoeffizienten des Materialrohrs 13 ( $\text{TEC}_M$ ) wird jedoch beim Einbrennen der Isolationsschicht 20 innerhalb dieser eine mechanische Druckvorspannung erzeugt. Durch diese spannungstolerante Verbindung ist die Isolationsschicht 20 als Trägerschicht der Heizung 10 in der Lage, der durch den Spritzgießprozeß technologisch bedingten pulsierenden Innendruckbelastungen problemlos standzuhalten, ohne daß Risse oder sonstige Beschädigungen an der Heizung 10 auftreten. Da die einzelnen Funktionsschichten 20, 22, 24, 26, 28 des Schichtverbunds aufgrund ihres materialspezifisch sehr ähnlichen Aufbaus zudem untereinander eine außerordentlich gute Haftfestigkeit aufweisen, hält die Heizung 10

insgesamt selbst extreme mechanischen und/oder thermischen Belastungen dauerhaft stand.

Als Beschichtungsverfahren zum Auftragen der einzelnen Funktionsschichten eignet sich die Folien- und die Dickschicht-Siebdrucktechnik. Bevorzugt verwendet man allerdings die Dickschicht-Siebdrucktechnik unter Anwendung der Runddrucktechnologie. Eine insgesamt ökonomische Verfahrensführung erzielt man, wenn parallel zu dem Einbrennprozeß der Dielektrikumschicht 20 eine induktive Härting des Materialrohrs 13 durchgeführt wird. Sowohl hierbei, als auch bei den nachfolgenden Einbrennvorgängen ist es wichtig, daß die jeweiligen Einbrennbedingungen (Einbrenntemperatur, Haltezeit, Abkühlrate) an die durch die verwendete Stahlsorte vorgegebenen Härtungs- und Vergütungstemperaturen angepaßt sind. Insbesondere dürfen die Einbrenntemperaturen der nachfolgenden Schichten die Vergütungstemperaturen des Metalls nicht überschreiten, um den bereits vorgebildeten Gefügezustand des Metalls zu erhalten. Diese Anpassung kann beispielsweise durch eine geeignete Variation der Prozeßparameter für den Einbrennvorgang erreicht werden. Möglich ist aber auch eine materialspezifische Anpassung der zu verwendenden Dickschicht-Pasten.

Das Materialrohr 13 von Fig. 1 besitzt ein Durchmesserverhältnis von Außen- zu Innendurchmesser zwischen 1,4 bis 2,5, vorzugsweise von 2,0, so daß bei einem Außen-durchmesser von beispielsweise 10 mm die Wandung 16 mindestens 2,8 mm dick ist. Letztere wird während des Spritzgießvorgangs betriebsbedingt einer pulsierenden Innendruckbelastung von etwa 2000 bar und einer Temperatur von etwa 300°C ausgesetzt. Der Stahl des Heißkanalrohrs 13 besitzt einen linearen thermischen Ausdehnungskoeffizient (TEC) von  $11 \cdot 10^{-6} \text{K}^{-1}$  im Temperaturbereich zwischen 20 und 300°C und einen E-Modul von  $2 \cdot 10^6 \text{ bar}$ . Die zur Härtung des Materials erforderliche Wärmebehandlungstemperatur liegt vorzugsweise im Bereich zwischen 800 und 1050°C.

Auf die zwecks verbesserter Haftfestigkeit in bekannter Weise aufgerauhte Metalloberfläche 16 wird im Runddruckverfahren eine Dickschicht-Dielelektrikumspaste aufgebracht, deren Feststoffanteil ausschließlich aus einem im Temperaturbereich oberhalb 900°C in situ kristallisierenden Glas mit den Hauptkomponenten BaO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> und SiO<sub>2</sub> in der näherungsweise molaren Zusammensetzung BaO Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 4 SiO<sub>2</sub> besteht. Die nach dem Einbrennen bei 950°C erhaltenen Dielektrikumsschicht 20 besitzt einen TEC von  $6 \cdot 10^{-6} \text{K}^{-1}$  im Temperaturbereich 20 bis 300°C.

Bedingt durch den hierdurch entstehenden TEC-Mismatch zwischen Metallwandung 16 und Dielektrikumsschicht 20 in der Größenordnung  $5 \cdot 10^{-6} \text{K}^{-1}$  ist beim Abkühlen des mit dem Dielektrikum beschichteten Heißkanalrohrs 16 im Temperaturbereich der reinelastischen Deformation, d. h. zwischen der Transformationstemperatur des Glases von etwa 700°C und Raumtemperatur, mit dem Aufbau einer Druckspannung von etwa 3500 bar zu rechnen (bei einem angenommenen E-Modul der Dielektrikumsschicht 20 von  $2 \cdot 10^6 \text{ bar}$ ). Die Höhe der Druckvorspannung erreicht noch nicht den kritischen Grenzbereich der Eigendruckfestigkeit des Dielektrikums, der oberhalb von 6000 bar beginnt. Sie ist jedoch ausreichend, um das Auftreten von Zugspannungen in der Dielektrikumsschicht 20 und damit auch in den nachfolgenden Schichten 22, 24 zuverlässig zu verhindern, wenn die 2,8 mm dicke Rohrwandung 16 des Heißkanalrohrs 12 bei einer Belastung von 2000 bar zyklisch gedrückt wird.

Die elektrischen Anschlüsse 23' und 29' für die Heizleiterbahnen 23 und für die Widerstandsschicht 28 werden ebenfalls in Dickschichttechnik ausgeführt, wobei die hier-

für erforderlichen Kontakte so gestaltet sind, daß die Leistungszufuhr bzw. Informationsübertragung über steckbare Kabelverbindungen erfolgen kann.

Die Erfindung ist nicht auf eine der vorbeschriebenen Ausführungsformen beschränkt, sondern in vielfältiger Weise abwandelbar. So kann man innerhalb des Materialrohrs 13 Heizstäbe vorsehen, die mit der oben beschriebenen Heizung beschichtet sind.

Auch kann das Rohr einen ovalen oder eckigen Querschnitt aufweisen. Anstelle der Dickschicht-Pasten kann man sogenannte Grünfolien verwenden, die auf dem Rohr umfang fixiert und anschließend eingearbeitet werden. Das Härteln des Materialrohrs 13 kann prinzipiell durch Martensitbildung oder durch Ausscheidungshärtung erfolgen, wobei eine induktive Erwärmung vorzuziehen ist.

Man erkennt, daß auf dem Umfang der Wandung 16 eines zylindrischen Materialrohrs 13 einer Heißkanaldüse 12 in Direktbeschichtung eine elektrische Flachschichtheizung 10 installiert wird. Diese Flachschichtheizung 10 besteht aus einer unmittelbar auf das Metallrohr 13 aufgebrachten keramischen Dielektrikumsschicht 20, wenigstens einer Schicht 22 bestehend aus Heizleiterbahnen 23 sowie einer darüber aufgebrachten elektrisch isolierenden keramischen Abdeckschicht 24.

Als Beschichtungsverfahren eignet sich die Folien- oder die Dickschicht-Siebdrucktechnik. Bevorzugt verwendet man jedoch für den gesamten Schichtaufbau die Dickschichttechnik unter Verwendung der Runddrucktechnologie. Alternativ kann man die keramische Dielektrikumsschicht 20 als vorgefertigte Grünfolie auf dem Rohr umfang des Heißkanalrohres 12 fixieren und anschließend einbrennen.

Ein wichtiges Merkmal der Erfindung stellt die Ausbildung einer spannungstoleranten Verbindung zwischen der keramischen Dielektrikumsschicht 20 und dem Heißkanalrohr 13 dar, welches bei Betriebstemperatur einer durch den Spritzgießprozeß technologisch bedingten pulsierenden Innendruckbelastung ausgesetzt wird. Diese Belastung und die zum Erreichen der Betriebstemperaturen erforderliche Erwärmung des Materialrohrs 13 auf Temperaturen zwischen 300 und 450°C führen zu elastischen Dehnungsvorgängen des Heißkanalrohres. Der jeweilige Grad der Verformung hängt von materialspezifischen Größen (E-Modul) und von technologischen Randbedingungen (Betriebstemperatur, Rohrwandstärke, Höhe des Innendrucks) ab. Dies führt dazu, daß die auf dem Stahlrohr 13 eingearbeitete Dielektrikumsschicht 20 im Zusammenwirken der genannten Größen in unterschiedlichem Maße in den Bereich von Zugspannungen gelangen kann, was jedoch durch die innerhalb der Dielektrikumsschicht 20 ausgeprägten Druckvorspannung während des Betriebes kompensiert wird.

Dadurch erreicht man eine außerordentlich gute Haftfestigkeit der Dielektrikumsschicht 20 auf dem Materialrohr 13 der Heißkanaldüse 12, die selbst den bei der Innendruckbelastung radienabhängig in unterschiedlicher Höhe auftretenden Delaminationskräfte in der Schicht problemlos standhält. Von besonderem Vorteil ist insbesondere, daß mit der erfindungsgemäßen Heizung 10 eine extrem hohe Leistungsdichte auf sehr engem Raum erzeugt werden kann, wobei die Wärme stets genau an der Stelle erzeugt wird, wo auch die Wärmeabfuhr erfolgt. Die Temperaturführung ist äußerst einfach zu realisieren; die Temperaturverteilung exakt gleichmäßig.

Sämtliche aus den Ansprüchen, der Beschreibung und der Zeichnung hervorgehenden Merkmale und Vorteile, einschließlich konstruktiver Einzelheiten, räumlicher Anordnungen und Verfahrensschritten, können sowohl für sich als auch in den verschiedensten Kombinationen erfindungswe-

sentlich sein.

#### Bezugszeichenliste

- 5    10 Heizung
- 12 Heißkanaldüse
- 13 Materialrohr
- 13' Bund/Flansch
- 14 Strömungskanal
- 10    16 Wandung
- 17 Sockel
- 18 Düsen spitze
- 19 Endbereich
- 20 Isolierschicht/Dielektrikumsschicht
- 15    22 Heizschicht
- 23 Heizleiterbahn
- 23' Anschluß
- 24 Abdeckschicht
- 25 Dichtfläche
- 20    26 Kontakt schicht
- 28 Widerstandsschicht
- 29 Thermofühler
- 29' Anschluß

#### Patentansprüche

1. Elektrische Heizung (10) für Heißkanalsysteme, insbesondere für Heißkanalverteiler und/oder Heißkanaldüsen (12), bestehend aus wenigstens einer Isolierschicht (20) und wenigstens einer Heizleiterbahnen (23) aufweisenden Heizschicht (22), wobei die eine Flachschichtheizung bildenden Schichten (20, 22) mittels Direktbeschichtung stoffschlüssig auf wenigstens einer einem Strömungskanal (14) zugeordneten Wandung (16) eines Materialrohrs (13) aufgebracht sind.
2. Heizung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß zumindest eine Isolierschicht (20) eine keramische Dielektrikumsschicht ist, die nach zumindest einem Einbrennprozeß gegenüber der dem Strömungskanal (14) zugeordneten Wandung (16) unter Druckvorspannung steht.
3. Heizung nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß der lineare thermische Ausdehnungskoeffizient ( $TEC_{DE}$ ) der Dielektrikumsschicht (20) nach dem Einbrennprozeß kleiner ist als der lineare thermische Ausdehnungskoeffizient der dem Strömungskanal (14) zugeordneten Wandung (16) ( $TEC_M$ ).
4. Heizung nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß der Betrag der Differenz zwischen  $TEC_{DE}$  und  $TEC_M$  kleiner als  $5,0 \cdot 10^{-6} K^{-1}$  ist.
5. Heizung nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Dielektrikumsschicht (20) ein glasig-kristallines Materialsystem aufweist.
6. Heizung nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß das Materialsystem wenigstens ein vorgebildetes Glas enthält, welches bei einer vorgebbaren Einbrenntemperatur die Oberfläche der bevorzugt aus Metall bestehenden Wandung (16) benetzt und dabei zumindest teilweise in einen kristallinen Zustand übergeht.
7. Heizung nach Anspruch 5 oder 6, dadurch gekennzeichnet, daß das Materialsystem wenigstens ein weiteres Glas enthält, welches unter vorgebbaren Einbrennbedingungen nicht kristallisiert.
8. Heizung nach einem der Ansprüche 5 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß das Materialsystem wenigstens eine a priori kristalline Verbindung enthält.
9. Heizung nach einem der Ansprüche 5 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß die Dielektrikumsschicht (20)

eine eingebrannte Folie ist.

10. Heizung nach einem der Ansprüche 5 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß die Dielektrikumsschicht (20) eine eingebrannte Dickschichtpaste ist.
11. Heizung nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß der Feststoffanteil der Dickschichtpaste ausschließlich aus einem im Temperaturbereich oberhalb 900°C in situ kristallisierenden Glas besteht.
12. Heizung nach einem der Ansprüche 5 bis 11, dadurch gekennzeichnet, daß der lineare thermische Ausdehnungskoeffizient ( $TEC_{DE}$ ) der Dielektrikumsschicht (20) zwischen  $5 \cdot 10^{-6} K^{-1}$  und  $7 \cdot 10^{-6} K^{-1}$  liegt.
13. Heizung nach einem der Ansprüche 1 bis 12, dadurch gekennzeichnet, daß die Heizschicht (22) dem Leistungsbedarf angepaßte Heizleiterbahnen (23) aufweist.
14. Heizung nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, daß auf der Heizschicht (22) wenigstens eine elektrisch isolierende Abdeckschicht (24) aufgebracht ist.
15. Heizung nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, daß unterhalb und/oder zwischen der Dielektrikumsschicht (20), der Heizschicht (22) und der Abdeckschicht (24) wenigstens eine Kontaktsschicht (26) vorgesehen ist.
16. Heizung nach Anspruch 14 oder 15, dadurch gekennzeichnet, daß wenigstens eine weitere Schicht (28) vorgesehen ist, deren Widerstand von der Temperatur der Heizschicht (22) und/oder der Wandung (16) abhängig ist.
17. Heizung nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, daß die Widerstandsschicht (28) und die Heizschicht (22) in einer Ebene liegen.
18. Heizung nach Anspruch 16 oder 17, dadurch gekennzeichnet, daß die Heizschicht (22), die Abdeckschicht (24), die Kontaktsschicht (26) und/oder die Widerstandsschicht (28) eingebrannte Folien oder eingebrannte Dickschichtpasten sind.
19. Heizung nach einem der Ansprüche 14 bis 18, dadurch gekennzeichnet, daß die Isolierschicht (20), die Heizschicht (22), die Abdeckschicht (24), die Kontaktsschicht (26) und die Widerstandsschicht (28) einen Schichtverbund bilden.
20. Heißkanalsystem, insbesondere Heißkanalverteiler oder Heißkanaldüse mit einer Heizung nach einem der Ansprüche 1 bis 19.
21. Heißkanaldüse mit einer Heizung nach einem der Ansprüche 1 bis 20, wobei die Heizung auf einem zylindrischen Materialrohr (13), einem Stab, einem Verteilerarm, einer Düse o. dgl. aufgebracht ist.
22. Verfahren zum Herstellen einer Heizung (10) für Heißkanalsysteme, insbesondere auf Heißkanalverteilern und/oder auf Heißkanaldüsen (12), dadurch gekennzeichnet, daß wenigstens eine Isolierschicht (20) und wenigstens eine Heizleiterbahnen aufweisende 55 Heizschicht (22) mittels Direktbeschichtung stoffschlüssig auf zumindest einer einem Strömungskanal (14) zugeordneten Wandung (16) eines Materialrohrs (13) aufgebracht werden.
23. Verfahren nach Anspruch 22, dadurch gekennzeichnet, daß zumindest eine Isolierschicht (20) eine keramische Dielektrikumsschicht ist.
24. Verfahren nach Anspruch 22 oder 23, dadurch gekennzeichnet, daß die Heizschicht (22) beliebig gestaltete Heizleiterbahnen (23) aufweist.
25. Verfahren nach Anspruch 24, dadurch gekennzeichnet, daß auf der bzw. jeder Heizschicht (22) wenigstens eine elektrisch isolierende Abdeckschicht (24)

aufgebracht wird.

26. Verfahren nach Anspruch 25, dadurch gekennzeichnet, daß unterhalb und/oder zwischen der Dielektrikumsschicht (20), der Heizschicht (22) und der Abdeckschicht (24) wenigstens eine Kontaktsschicht (26) aufgebracht wird.
27. Verfahren nach Anspruch 26, dadurch gekennzeichnet, daß wenigstens eine weitere Schicht (28) auf- oder eingebracht wird, deren Widerstand von der Temperatur der Heizschicht (22) und/oder der Wandung (16) abhängig ist.
28. Verfahren nach einem der Ansprüche 22 bis 27, dadurch gekennzeichnet, daß jede Schicht (20, 22, 24, 26, 28) separat in Folien-, Dickschicht oder Siebdrucktechnik aufgebracht wird.
29. Verfahren nach Anspruch 28, dadurch gekennzeichnet, daß die in Dickschichttechnik aufgebrachten Schichten (20, 22, 24, 26, 28) unter Anwendung der Runddrucktechnologie in Form von Pasten aufgebracht werden.
30. Verfahren nach Anspruch 28 oder 29, dadurch gekennzeichnet, daß jede Schicht (20, 22, 24, 26, 28) separat aufgetragen und anschließend eingebrannt wird.
31. Verfahren nach Anspruch 28 oder 29, dadurch gekennzeichnet, daß alle Schichten (20, 22, 24, 26, 28) separat aufgetragen und simultan (co-firing) eingebrannt werden.
32. Verfahren nach Anspruch 30 oder 31, dadurch gekennzeichnet, daß der Einbrenn-Temperaturbereich zwischen 800 und 1100°C liegt.
33. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 32, dadurch gekennzeichnet, daß die zu beschichtende Wandung (16) aus einem gehärteten oder zu härtendem Material besteht.
34. Verfahren nach Anspruch 33, dadurch gekennzeichnet, daß die Einbrenntemperatur jeder Schicht (20, 22, 24, 26, 28) die Härtungstemperatur des Wandungsmaterials nicht übersteigt.
35. Verfahren nach Anspruch 33 oder 34, dadurch gekennzeichnet, daß während wenigstens eines Einbrennungsprozesses der Härtungsprozeß der Wandung (16) durchgeführt wird.
36. Verfahren nach Anspruch 35, dadurch gekennzeichnet, daß die Einbrennbedingungen der Härtungstemperatur angepaßt sind.
37. Verfahren nach einem der Ansprüche 32 bis 35, dadurch gekennzeichnet, daß die Wandung (16) der Heißkanaldüse (12) induktiv auf Härtungs- und/oder Einbrenntemperatur erhitzt wird.
38. Verfahren nach einem der Ansprüche 22 bis 37, dadurch gekennzeichnet, daß zumindest eine Isolierschicht (20) eine keramische Dielektrikumsschicht ist und daß innerhalb dieser Schicht beim Einbrennen eine Druckvorspannung gegenüber der dem Strömungskanal (14) zugeordneten Wandung (16) erzeugt wird.
39. Verfahren nach Anspruch 38, dadurch gekennzeichnet, daß in Abhängigkeit von den dehnungsrelevanten Kenngrößen der dem Strömungskanal (14) zugeordneten Wandung (16) eine spezifische Fehlanpassung des linearen thermischen Ausdehnungskoeffizienten der Dielektrikumsschicht (20) ( $TEC_{DE}$ ) an den linearen thermischen Ausdehnungskoeffizienten der dem Strömungskanal (14) zugeordneten Wandung (16) ( $TEC_M$ ) erfolgt, wobei die Differenzausdehnung  $TEC_M - TEC_{DE}$  kleiner als  $5,0 \cdot 10^{-6} K^{-1}$  ist.
40. Verfahren nach Anspruch 38 oder 39, dadurch gekennzeichnet, daß der lineare thermische Ausdehnungskoeffizient der Dielektrikumsschicht (20) zwi-

11

12

schen  $5 \cdot 10^{-6} \text{K}^{-1}$  und  $7 \cdot 10^{-6} \text{K}^{-1}$  liegt.

41. Verfahren nach einem der Ansprüche 38 bis 40, dadurch gekennzeichnet, daß die Dielektrikumsschicht (20) durch Einfahren eines glasig-kristallinen Materialsystems auf der dem Strömungskanal (14) zugeordneten Wandung (16) erzeugt wird, wobei das Materialsystem wenigstens ein vorgebildetes Glas enthält, welches bei der jeweiligen Einbrenntemperatur die Metalloberfläche benetzt und zumindest teilweise in den kristallinen Zustand übergeht. 10

42. Verfahren nach Anspruch 41, dadurch gekennzeichnet, daß das Materialsystem wenigstens ein weiteres Glas enthält, welches unter Einbrennbedingungen nicht kristallisiert.

43. Verfahren nach Anspruch 41 oder 42, dadurch gekennzeichnet, daß das Materialsystem wenigstens eine a priori kristalline Verbindung enthält. 15

Hierzu 7 Seite(n) Zeichnungen

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

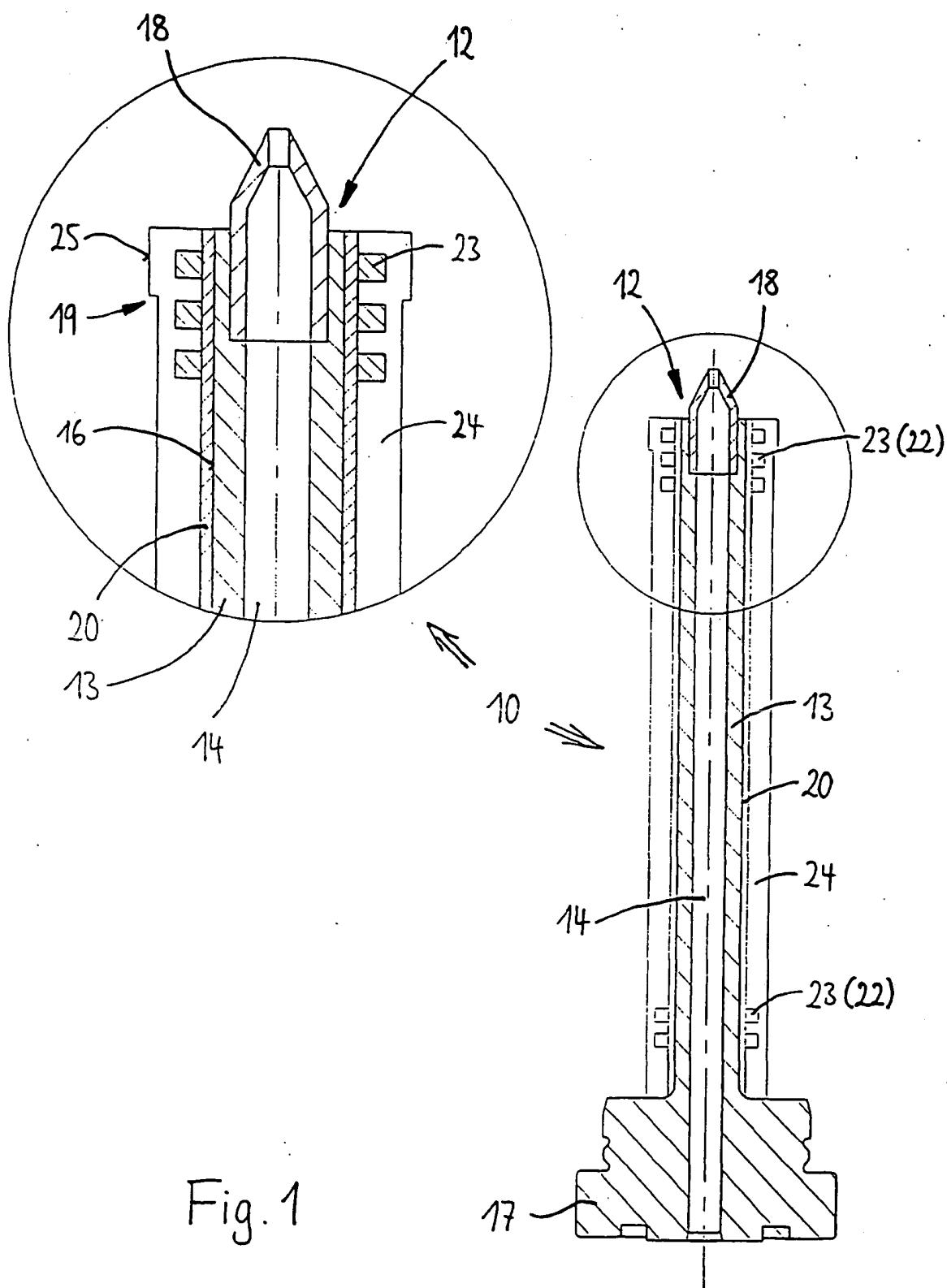


Fig. 1

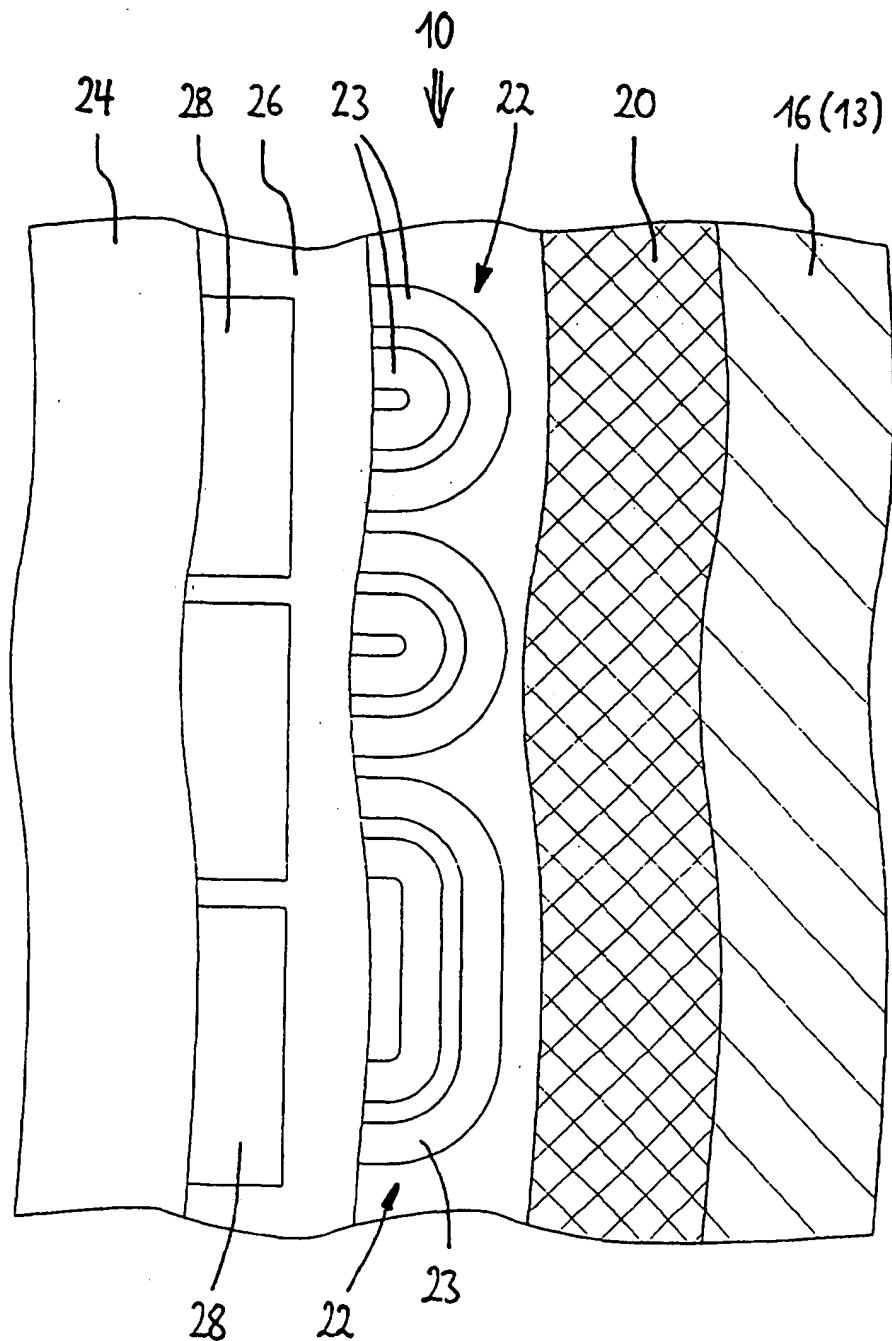


Fig. 2

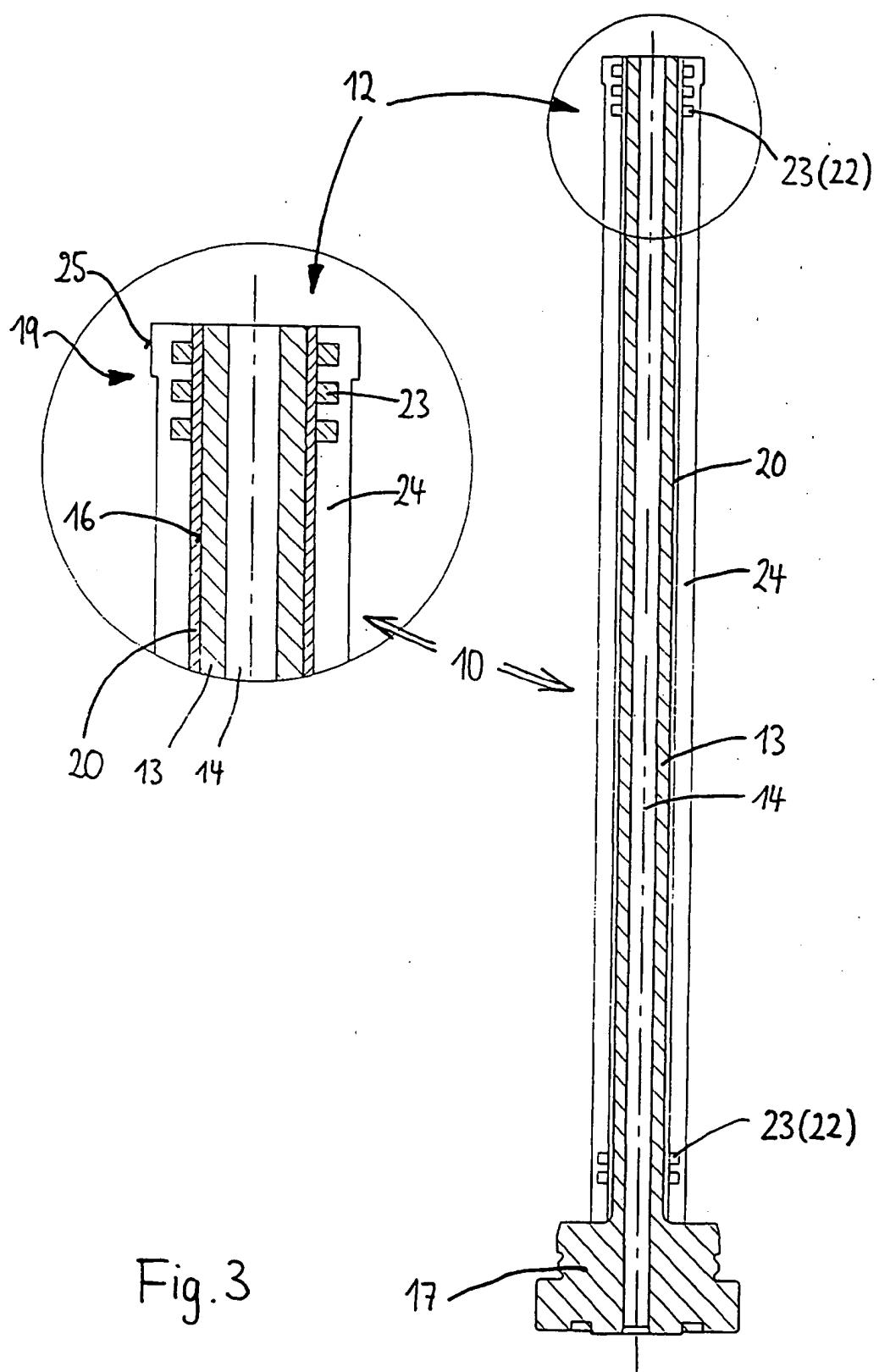


Fig. 3

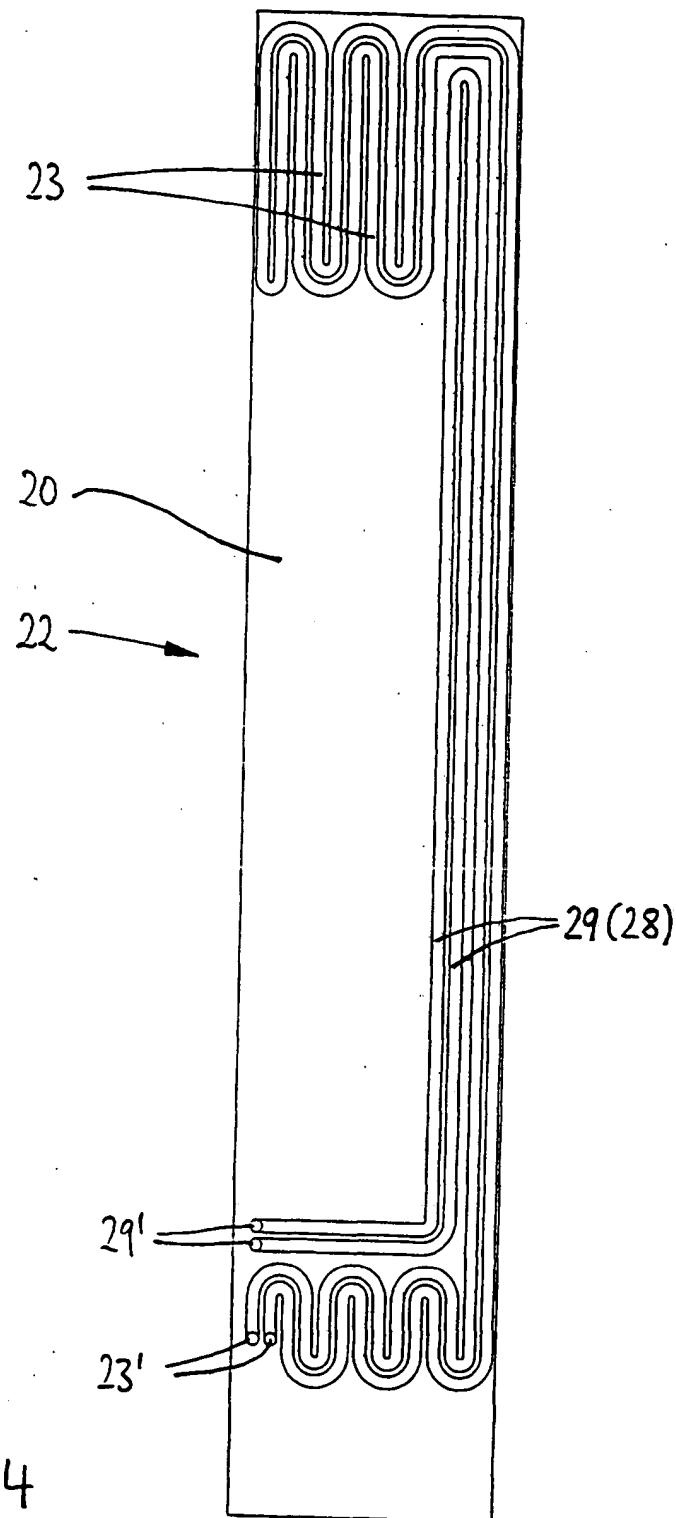
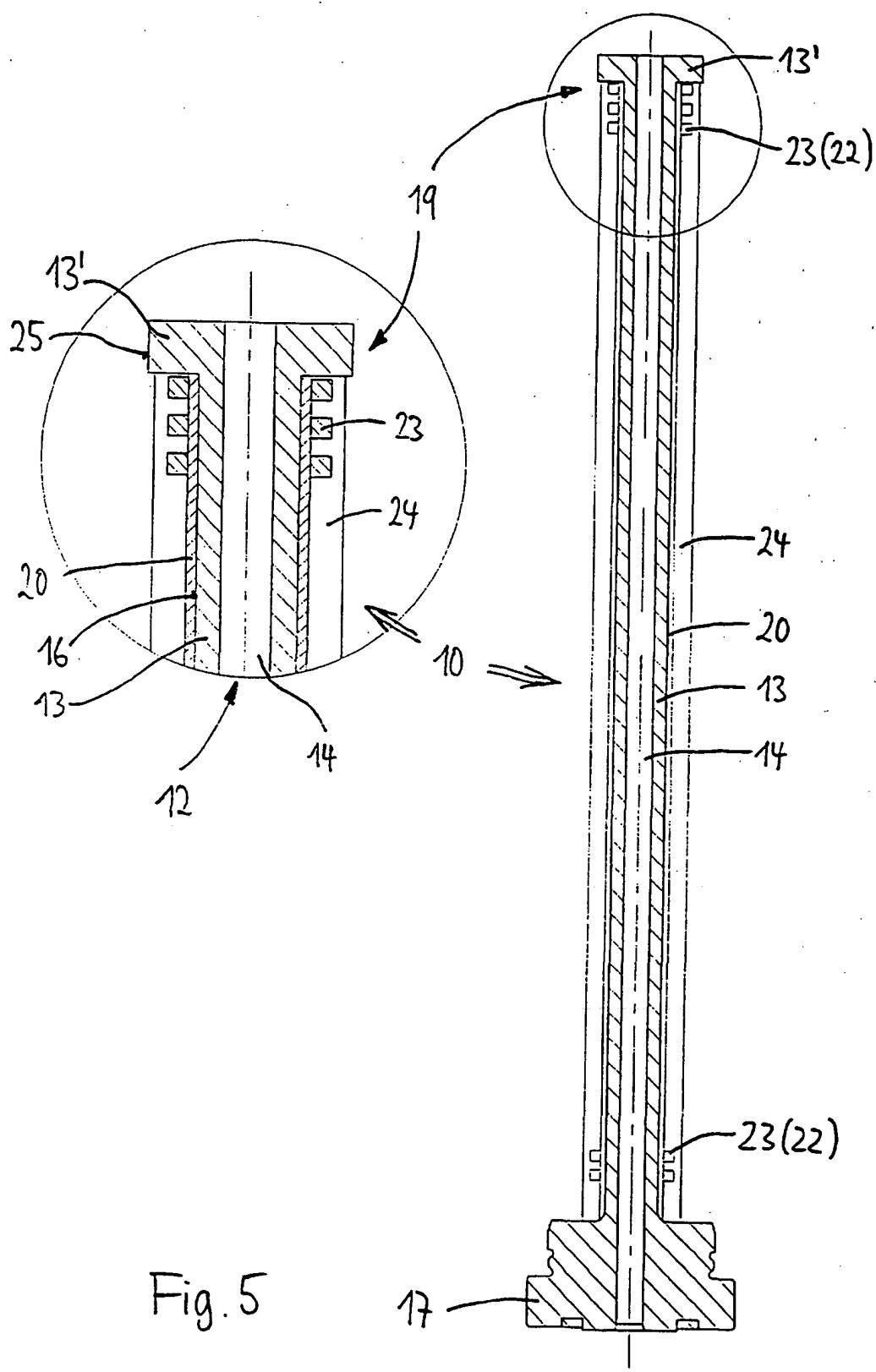


Fig. 4



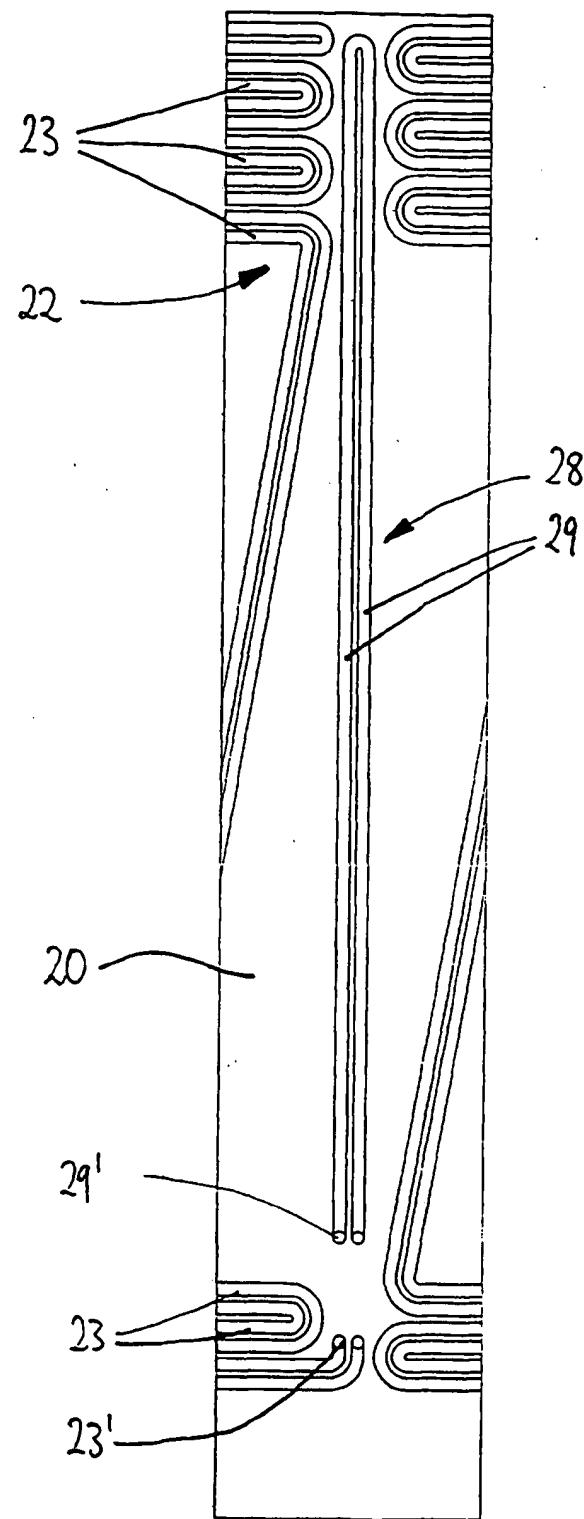


Fig. 6

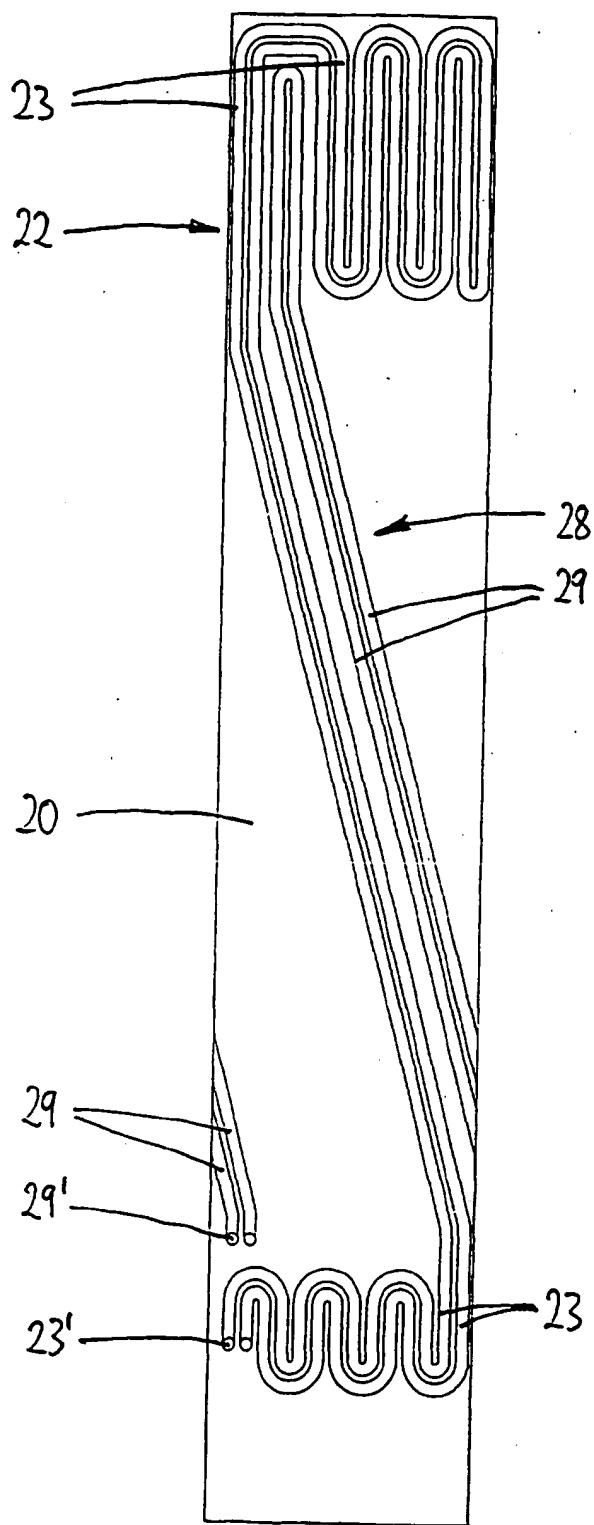


Fig. 7